

猪粪堆肥快速发酵菌剂及工艺控制参数初步研究

金珠理达¹, 王顺利¹, 邹荣松², 刘克锋¹, 王红利¹, 杨建玉¹, 孙俊丽¹

(1.北京农学院, 北京 102206; 2.神州生物科技有限责任公司研发中心, 呼和浩特 010206)

摘要:采用 $L_9(3^4)$ 正交设计在模拟发酵池中研究了辅料配比(秸秆添加量梯度为 5%、7.5%、10%)、物料含水量(梯度为 40%、50%、60%)、通风量(通风时长为 10、20、30 min)以及外源菌剂(空白、BN1 菌剂、EM 菌剂)等因素对猪粪堆肥效果的影响。其中 BN1 为课题组自制菌剂, 在测定了菌种纤维素酶活性的基础上, 作为外源菌剂接种猪粪堆肥。通过监测堆肥过程中各处理的温度变化, 测定堆肥样品总养分含量、堆肥结束后的 C/N, 并进行感官分析等对堆肥效果进行加权评分。结果表明, 猪粪堆肥最佳环境控制参数为秸秆添加量为 5%, 通风量为每立方米物料 $102 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 物料含水量 60%, 自制菌剂 BN1 能促进猪粪堆肥快速发酵。

关键词:猪粪堆肥; 微生物菌剂; 工艺控制参数; 正交试验

中图分类号: S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)03-0586-06

Microbial Agents and the Optimum Control Parameters for Pig Manure Composting

JIN Zhu-li-da¹, WANG Shun-li¹, ZOU Rong-song², LIU Ke-feng¹, WANG Hong-li¹, YANG Jian-yu¹, SUN Jun-li¹

(1. Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Shenzhou Limited Liability Company of Biotechnology, Inner Mongolia 010206, China)

Abstract: This thesis mainly studied the microbial agents and the optimum control parameters for pig manure composting. BN1 was a micro-organisms agent with mixed microbes; DZ1, DZ2, GX3 and DX2 which were selected by author from piggery wastes in Beijing areas, as well as *Coriolus versicolor* Quel. and *Penicillium chrysogenum* Thom. Based on the determination of the cellulase activity of all the microbes which proved to be high, the orthogonal composting test was carried out in simulated fermentation tanks to study the effects of different parameters such as ratio of auxiliary material, aeration rate, initial water content and microbial agents on pig manure composting to optimize the composting process. Straw was chosen as auxiliary material with the addition ratio of 5%, 7.5% and 10%. The aeration rates were ranked to 10 min, 20 min and 30 min. Meanwhile, the initial water contents were 40%, 50% and 60%. Microbial agents were EM and BN1, with non-microbial inoculation as blank control. According to the synthetically analysis of composting effects by weighted mark method involved with the changes of temperature during composting, total nutrient content, C/N and sensory analysis, the optimum condition of pig manure composting were obtained as follows: rate of straw addition was 5%, air-flow was $102 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ per cubic meter, water content of compost materials was 60%, and microbe was BN1.

Keywords: pig manure composting; microbial agents; control parameters; orthogonal design

历史上, 畜禽粪便曾是农田使用的优质肥料, 在当时的条件下, 地广人稀, 养殖规模小, 所产生的畜禽

粪便基本能被环境消化。而现今, 随着世界人口的爆炸式增长, 市场上对畜禽产品的需求成倍增加, 养殖业迅速发展, 产生了大量的畜禽粪便。随着化肥的出现, 也使畜禽粪便的缺点显露出来: 体积大、肥效慢、运输、贮存、使用不便等。据统计, 1 000 头奶牛场可日产粪尿 50 t; 100 头肉牛日产粪尿 20 t; 1000 头育肥猪日产粪尿 4 t; 10 000 只蛋鸡日产粪便 2 t^[1]。这样庞大的数据不能不引起重视, 处理不好, 便会对环境造成严重的污染。因此怎样高效、快捷地处理畜禽粪便, 成为当今研究的重点问题。

收稿日期: 2009-08-02

基金项目:北京市农业科技项目“规模化猪场粪污处理及资源化利用配套技术应用于示范”(20050505);北京市科委项目,“牛粪无公害处理及有机肥生产技术”(D07060500080001);北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR201007140);科技部农业科技成果转化资金项目“畜禽粪便无害化发酵生产高效有机肥技术转化”(2008360060462)

作者简介:金珠理达(1984—),女,内蒙古牙克石人,硕士在读,主要研究方向为植物栽培生理与生态。E-mail: JZLD8313752@tom.com

通讯作者:刘克锋 E-mail: liukefeng006@163.com

在众多的畜禽粪便处理方式中,由于好氧堆肥化处理成本低、无害化程度高、处理能力大,处理后的产品方便运输也能在农田施用,并且符合可持续农业发展的观点而备受关注^[2]。畜禽粪便中含有大量纤维素、半纤维素和木质素等物质,这些物质在自然堆肥条件下,分解速率慢,堆肥效率低。而纤维素能在纤维素酶的作用下水解分为纤维二糖,进而水解为葡萄糖^[3],所以在堆肥过程中添加高效的纤维素分解菌,不仅可以缩短堆肥时间,而且能够提高堆肥质量。

目前关于堆肥的机械设备研究很多,而如何利用这些现有的技术设备生产出更好的肥料则需要建立在成熟的堆肥工艺基础之上,因此堆肥工艺不仅是堆肥产品质量的保证,也是实现堆肥机械化和现代化的基础。研究表明,堆肥过程中主要的影响因素有:堆肥的物料配比(C/N)、通风量、物料的含水量、外源菌剂的选择和添加等^[4-5]。

本文在测定自选菌剂纤维素酶的基础上,通过正交设计,对上述4个影响堆肥的重要控制因素进行研究,得到猪粪堆肥的最佳控制参数。

1 材料和方法

1.1 堆肥微生物纤维素酶活力测定

本课题组从北京周边地区养猪场的粪污中利用“平板稀释法”筛选出适合猪粪发酵的微生物21种,并在单菌种堆肥试验的基础上,选择对猪粪堆肥效果好的真菌DZ1和DZ2,细菌GX3和DX2,同时从中国林业科学院森林生态环境与保护研究所购买“三素”分解菌:彩绒革盖菌(*Coriolus versicolor* Quel.,下文简称为*C.v.*)和产黄青霉(*Penicilium chrysogenum* Thom,下文简称为*P.c.*),并分别测定各菌种纤维素酶的活力。

在250 mL三角瓶中装入50 mL培养液,将DZ1、DZ2、GX3、DX2、*P.c.*、*C.v.*分别接种到发酵液体培养基中。其中,真菌的培养基为改良的高氏一号培养基:葡萄糖10 g,蛋白胨5 g,硝酸钾1 g,氯化钠0.5 g,磷酸氢二钾0.5 g,硫酸镁0.5 g,硫酸亚铁0.01 g,蒸馏水1 000 mL,pH7.2~7.4;细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基:牛肉膏3.0 g,蛋白胨5.0 g,氯化钠5.0 g,蒸馏水1 000 mL,pH7.0~7.2。在28℃,1 200 r·h⁻¹速度下振荡培养。每隔24 h取0.5 mL培养液,稀释后用3,5-二硝基水杨酸法测定纤维素酶(CMC)活力。

1.2 堆肥微生物菌剂组合

将上述6种微生物菌种在生物液体发酵罐中扩

大繁殖,并按照1:1:1:1:1:1的比例进行组合,命名为“BN1”菌剂,用于猪粪堆肥。

1.3 堆肥工艺控制参数

1.3.1 材料

供试猪粪:由本课题组购自北京市顺义区赵全营镇北郎中村万头生猪场新鲜猪粪,并及时取部分猪粪铺设薄层,在低温条件下晾干,用于调节物料的含水量。

供试辅料:玉米秸秆购自北京农学院教学试验场,粉碎成锯末状。

试验地点:北京农学院园林系重点建设学科基地的2号塑料大棚温室内,采光强,易保温。

发酵菌剂:本课题组自行研制的高效堆肥菌剂“BN1”及购自中国农业科学院的商品菌剂EM。

温度记录仪:可以连续监控温度,并能记录当日的最低和最高温度。

堆肥的原料特性见表1。

表1 堆肥原料特性

Table 1 Parameters of the raw composting materials

种类	含水量/%	总氮/%	总碳/%	碳氮比
猪粪	47.1	0.9	18	20
秸秆	7.6	0.3	18.3	61

1.3.2 模拟发酵池

砖砌长方型的发酵池设计图参见图1,1 m×0.4 m×0.8 m,四周内衬5 mm厚的泡沫保温层,底部垫有稻草防潮保温透气,铺设直径5 cm的PVC管道作为通风管,并在管道顶部钻取3×3个孔。共建设27个模拟发酵池。

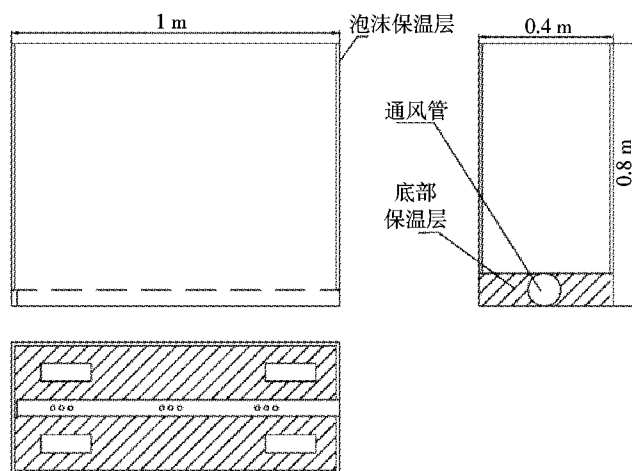


图1 发酵池的设计

Figure 1 Design for simulated fermentation tank

发酵池建设好后沿其内壁铺设一层遮荫网,便于发酵物料在其中存放,而且发酵结束后方便取出发酵池中的肥料。

1.3.3 试验设计

将物料配比、物料含水量、通风量、外源菌剂等 4 个猪粪堆肥过程影响因素进行正交设计^[6],选取 4 因素 3 水平表头(参见表 2),其中数值参考李季等^[4]的研究。

表 2 正交试验设计				
Table 2 Design for orthogonal test				
	秸秆添加量/ %	通气时长/ min·d ⁻¹	物料含水量/ %	外源菌剂
处理 1	5	10	40	CK
处理 2	5	20	50	BN1
处理 3	5	30	60	EM
处理 4	7.5	10	50	EM
处理 5	7.5	20	60	CK
处理 6	7.5	30	40	BN1
处理 7	10	10	60	BN1
处理 8	10	20	40	EM
处理 9	10	30	50	CK

1.3.4 试验方法

将试验前准备好的干、湿猪粪和秸秆碎沫按照比例混合,添加菌剂,EM 菌剂按其说明使用方法添加,“BN1”菌剂发酵后按 0.5%(V/M)接种,调节含水量。搅拌均匀,松散放入模拟发酵池。共 9 个处理,每个处理重复 3 次。装料完毕后,及时插入温度计,要求探头达到堆体深 30 cm 处。再用 1.5 cm 厚的泡沫板覆盖发酵池顶部,并且泡沫板上盖有棉被,保温。

每日下午 14:00—15:00 时记录当日的堆体温度,并按照试验设计对堆体通风,每 5 d 进行人工翻堆。

于堆肥结束后,用小土钻钻取堆体表层向下 40~50 cm 处样品,及时铺开风干备用。

将风干样品粉碎,测定其全碳、全氮、全磷和全钾含量,测定方法参见《土壤农业化学分析方法》^[7]。

1.3.5 堆肥效果评价方法

根据多次试验的经验,利用加权评分法来检验各处理的堆肥效果,见表 3。

2 结果与讨论

2.1 堆肥微生物纤维素酶活力

通过对各菌种纤维素酶活力测定(表 4)可知,引进的“三素”分解菌 *P.c.*和 *C.v.*的纤维素酶活性在培养

表 3 堆肥效果评价指标及标准	
Table 3 Evaluation standards for composting effect	
评价指标	评分标准
温度(3 分)	(1)温度未上升至 50 ℃,发酵不成功,得 0 分;(2)升温速度快,高温持续时间长,进入二次发酵后温度较高、保温效果好,得 3 分;(3)介于上述二者之间,结合发酵升温速度或二次发酵的温度,得 1 分或 2 分
堆肥样品 C/N(3 分)	堆肥结束后各处理样品的 C/N 按从大到小进行排序,排序名次与 0.3 的乘积为该处理得分
感官效果(3 分)	(1)秸秆和猪粪仍然泾渭分明,未腐熟,堆体有严重恶臭,得 0 分;(2)秸秆略有腐熟,堆体有恶臭,得 1 分;(3)秸秆大部分腐熟,堆体异味较大,得 2 分;(4)秸秆和猪粪已经完全混融,堆体虽有异味,但能接受,得 3 分
总养分含量(1 分)	堆肥结束各处理样品总养分含量按从小到大进行排序,排序名次与 0.1 的乘积为该处理得分

的第 72 h 达到最高峰,随后迅速下降;已知 *P.c.*和 *C.v.*均属于木腐菌类,对木质素、纤维素和半纤维素降解能力强,邹容松等^[8]研究也证明 *P.c.*是一株理想的堆肥发酵菌株。而本课题组自主筛选的 DZ1、DZ2、GX3、DX2 也表现出与 *P.c.*和 *C.v.*相似的变化趋势,均在培养的第 72 h 达到最大活力之后迅速下降,并且其纤维素分解酶的活性在各个培养阶段测定均与 *P.c.*和 *C.v.*相当或稍高。这也说明菌种 DZ1、DZ2、GX3 和 DX2 具有较强的纤维素分解能力,易于猪粪堆肥腐熟,因此将 DZ1、DZ2、GX3、DX2、*P.c.*和 *C.v.*按照 1:1:1:1:1:1 的比例进行组合,命名为“BN1”菌剂用于后续猪粪堆肥试验。

表 4 不同菌种纤维素酶活力的测定(mg·G·mL ⁻¹ ·30 min ⁻¹)					
Table 4 Measurement of cellulase activities in different microorganisms(mg·G·mL ⁻¹ ·30 min ⁻¹)					
菌种	培养时间/h				
	24	48	72	96	120
DZ1	0.503	0.271	36.2	1.98	2.33
DZ2	1.86	0.489	27.6	3.15	1.33
GX3	2.32	0.264	31.8	2.11	2.56
DX2	1.88	0.358	32.3	2.77	1.56
<i>P.c.</i>	0.862	0.587	26.3	1.39	1.92
<i>C.v.</i>	1.46	0.236	29.7	2.38	1.88

2.2 堆肥表现效果评价

2.2.1 堆肥过程温度变化

我国粪便无害化卫生标准(GB 7959—1987)规定,最高堆肥温度达到 50~55 ℃并持续 5~7 d,堆肥即达到无害化标准^[9]。如图 2 曲线所示,在堆肥初期堆肥中微生物分解利用物料中有机物进行自身代谢与繁殖,所以释放出大量热量,堆体温度上升速度快,其中处理 2 和处理 3 升温速度快,分别在第 6 d 和第 7 d

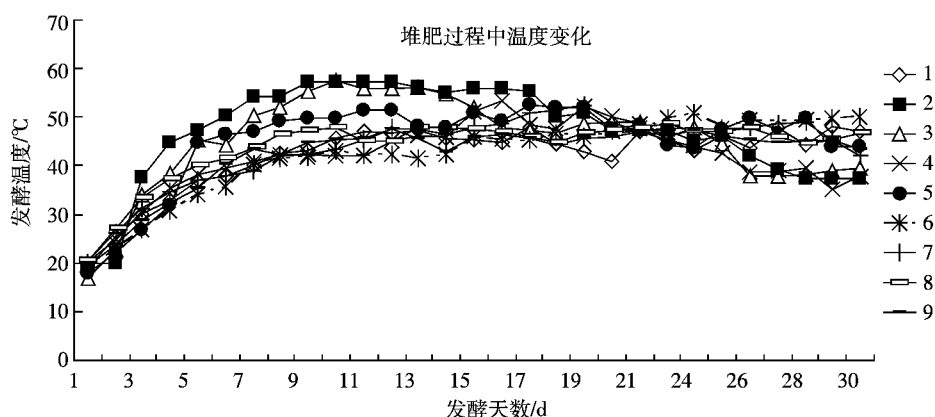


图 2 堆肥过程中的温度变化

Figure 2 Changes of temperature during composting

上升到 50 ℃ 以上,其余处理温度上升速度较慢;处理 2 和处理 3 的最高温分别是 57.3 ℃ 和 57.5 ℃,二者高温期分别维持了 14 d 和 9 d,而其他处理最高温均低于 55 ℃,且高温期持续时间短,其中处理 4、处理 5 和处理 6 在高温期均有短暂的降温现象。处理 1、处理 8 和处理 9 一直到发酵结束温度均未达到 50 ℃ (表 5)。

表 5 堆肥过程中温度变化

Table 5 Changes of temperature during composting

项目	达到 50 ℃ 所需天数/d	50 ℃ 以上持续天数/d	最高温度/℃
处理 1	—	0	48.1
处理 2	6	14	57.3
处理 3	7	9	57.5
处理 4	15	2+2	53.5
处理 5	11	2+1+3	52.5
处理 6	24	1+1	50.8
处理 7	17	3	52.7
处理 8	—	0	48.8
处理 9	—	0	47.5

注:“50 ℃ 以上持续天数”为整个发酵过程各处理保持在 50 ℃ 以上的天数,其中处理 4、处理 5 和处理 6 在高温阶段有短暂的降温现象。

2.2.2 堆肥养分含量及碳氮比分析

于堆肥结束后对各处理取样并测定养分含量,结果见表 6。各处理堆肥结束后的养分含量均在 4% 以上。养分含量最高的为处理 2,其次为处理 9,二者均在 4.8% 以上,而处理 3 养分含量最低,为 4.311%。对 C/N 分析可知,各处理堆肥的 C/N 均低于 20,其中处理 1 的 C/N 最高,为 19.5;处理 4 的 C/N 最低,为 15.5。

2.2.3 堆肥发酵效果评价

根据表 3 堆肥效果评价指标及标准对每个处理进行加权评分,各处理综合得分见表 7。处理 2 得分

最高,为 8.7 分,其次为处理 3,得分为 8.2,此后依次是处理 5、处理 4、处理 7、处理 9、处理 6、处理 8,而处理 1 得分最低。将各处理的综合得分进行正交因素分析,见表 8。

从表 8 各因素的极差值来看,物料初始含水量>秸秆添加量>接种的菌剂种类>通气时长,表明影响猪粪堆肥的最主要因素是物料初始含水量,其次为辅料添加比例,而接种的菌剂种类以及通气时长对堆肥过程影响最小。通过比较各影响因素的不同水平的平均效果值,可知物料初始含水量 60%>50%>40%,秸秆添加量 5%>7.5%>10%,菌剂 BN1>EM>未接菌剂,而通气时长 20 min 最好,其次为 10 min 和 30 min。由此得出猪粪堆肥工艺最佳环境参数,见表 9。

在好氧堆肥过程中,添加辅料主要用于调节物料的初始 C/N、水分及物料的孔隙度^[10]。根据本研究结果,猪粪堆肥可以添加秸秆作为辅料,其添加量为 5% (C/N 为 21)。吕黄珍等^[11]研究结果表明猪粪堆肥初始碳氮比为 20,这与本研究结果一致。由于是好氧堆肥,氧气是必不可少的影响因子,但是通气过多,对堆体升温、保温、水分散失影响较大,通气量不足,会影响好氧微生物活性;而物料含水量过高,减小了堆体孔隙度导致厌氧发酵,过低则不能满足微生物生长需要;有目的的添加外援菌剂,能加速堆肥进程,提高堆肥质量^[12-13]。因此,确定合适的辅料添加量、通气量、含水量及外源菌剂,对好氧堆肥有着非常重要的意义。课题组按照筛选出的猪粪堆肥最佳工艺参数进行后续的堆肥试验验证,堆肥效果稳定,显著好于对照。

3 结论

(1) 课题组自主筛选的 DZ1、DZ2、GX3 和 DX2 与

表 6 堆肥样品的养分含量

Table 6 Nutrient contents of composted pig manure

项目	全碳/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	全磷/g·kg ⁻¹	全钾/g·kg ⁻¹	总养分含量/g·kg ⁻¹	C/N
处理 1	393.56	20.18	8.41	17.93	46.52	19.5
处理 2	390.21	21.28	10.43	17.07	48.78	18.3
处理 3	327.44	18.05	8.98	16.08	43.11	18.1
处理 4	290.92	20.01	10.15	15.95	46.11	15.5
处理 5	294.44	17.89	8.25	19.15	45.29	16.5
处理 6	316.31	16.65	8.86	17.98	43.49	19.0
处理 7	368.15	19.91	9.00	15.91	44.82	18.5
处理 8	356.84	18.42	10.88	17.95	47.25	19.4
处理 9	365.70	19.35	9.68	18.98	48.01	18.9

表 7 发酵效果评价表

Table 7 Scores for fermentation

处理	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度指标	0	3	3	2	2	1	2	0	0
C/N	0.3	1.8	2.1	2.7	2.4	0.9	1.5	0.6	1.2
总养分含量	0.6	0.9	0.1	0.5	0.4	0.2	0.3	0.7	0.8
感官经验	1	3	3	2	3	1	3	1	2
总 分	1.9	8.7	8.2	7.2	7.8	3.1	6.8	2.3	4.0

表 8 正交试验结果

Table 8 Result of the orthogonal test

处理	秸秆添加量	通气时长/min	含水量	接种处理	综合得分
1	5%	10	40%	CK	1.9
2	5%	20	50%	BN1	8.7
3	5%	30	60%	EM	8.2
4	7.5%	10	50%	EM	7.2
5	7.5%	20	60%	CK	7.8
6	7.5%	30	40%	BN1	3.1
7	10%	10	60%	BN1	6.8
8	10%	20	40%	EM	2.3
9	10%	30	50%	CK	4.0
均值 1	6.267	5.300	2.433	4.567	
均值 2	6.033	6.267	7.300	6.200	
均值 3	4.367	5.100	7.600	5.900	
极差	1.900	1.167	5.167	1.633	

表 9 猪粪堆肥最佳工艺控制参数

Table 9 The optimum control parameters for
pig manure composting

秸秆添加量	通气时长	水含量	菌种
5%	20 min	60%	BN1

注:其中秸秆添加量为 5%时,计算出初始 C/N 为 21;通气鼓风机功率为 1.63 m³·min⁻¹,堆体的体积为 0.32 m³,则通气量为每立方米物料 102 m³·d⁻¹。

引进的典型“三素”分解菌彩绒革盖菌和产黄青霉具有相当的纤维素酶活力,其纤维素酶活力的变化趋势与彩绒革盖菌和产黄青霉相同,都是先升高再降低,并且纤维素酶活力出现高峰的时间为 72 h。

(2)课题组自制菌剂 BN1(自主筛选的 DZ1、DZ2、GX3 和 DX2 与彩绒革盖菌和产黄青霉以等比例进行混合),接种猪粪进行堆肥,与接种 EM 菌剂及未接种微生物菌剂的处理相比,更能促进堆肥温度上升,高温持续时间长,总养分含量高,堆肥效果良好。因此 BN1 能促进猪粪堆肥快速发酵,同时也进一步验证了“三素”分解菌在堆肥中的重要作用。

(3)猪粪堆肥的速度和效率取决于微生物的作用,而最佳的环境控制参数能为微生物的增殖创造有利条件。本研究获得猪粪堆肥最佳环境控制参数为:添加 5%秸秆碎沫(C/N 为 21),通风量为每立方米物料 102 m³·d⁻¹,物料含水量 60%,接种外源菌剂 BN1。

参考文献:

[1] 于树平,王友忠.浅谈畜禽粪便的无害化处理问题[N].养殖技术顾问,2008.
YU Shu-ping, WANG You-zhong. The problem of manure's harmless dipose[N]. *Technical Advisor for Animal Husbandry*, 2008.
[2] 王 岩.养殖业固体废物快速堆肥化处理[M].北京:化学工业出版社,2004.

- WANG Yan. Quick compost processing of solid waste of breeding industry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [3] 梁东丽, 谷洁, 秦清军, 等. 农业废弃物静态高温堆肥过程中纤维素酶活性的变化[J]. 环境科学学报, 2002, 29(2): 323-329.
- LIANG Dong-li, GU Jie, QING Qin-jun, et al. Cellulase activities of agricultural waste materials during static composting at high temperature[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 29(2): 323-329.
- [4] 李季, 彭生平. 堆肥工程实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- LI Ji, PENG Sheng-ping. A practical handbook for composting works[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [5] 刘克锋, 刘悦秋, 雷增普, 等. 提高猪粪和城市垃圾堆肥质量的菌种选择[J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 47-54.
- LIU Ke-feng, LIU Yue-qiu, LEI Zeng-pu, et al. Screening of starter strains for higher quality of pig dung and urban waste compost[J]. *Rural Eco-Environment*, 2003, 19(2): 47-54.
- [6] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- TANG Qi-yi, FENG Ming-guang. Practical statistical analysis and data processing system of DPS[M]. Beijing: Scientific Press, 2002.
- [7] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- Soil Sciences Society of China. The ways of agricultural soil chemical analysis[M]. Beijing: Science and Technology Publishing House of China Agricultural, 2000.
- [8] 邹荣松, 刘克锋, 孙向阳, 等. 彩绒革盖菌在猪粪堆肥中应用的初步研究[J]. 微生物学杂志, 2007, 27(4): 91-93.
- ZOU Rong-song, LIU Ke-feng, SUN Xiang-yang, et al. Study on *Coriarius versicolor* used in swine manure compost[J]. *Journal of Microbiology*, 2007, 27(4): 91-93.
- [9] GB 7959—1987, 粪便无害化卫生标准[S].
- GB 7959—1987, Sanitary standard for the non-hazardous treatment of might soil[S].
- [10] 钱晓雍, 沈根祥, 黄丽华, 等. 畜禽粪便堆肥腐熟度评价指标体系研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 549-554.
- QIAN Xiao-yong, SHEN Gen-xiang, HUANG Li-hua, et al. An index system for evaluating the maturity of animal manure composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 549-554.
- [11] 吕黄珍, 韩鲁佳, 杨增玲. 猪粪麦秸反应器好氧堆肥工艺参数优化[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 101-105.
- LV Huang-zhen, HAN Lu-jia, YANG Zeng-ling. Optimization of aerobic composting parameters on pig slurry-wheat straw reactor[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(3): 101-105.
- [12] 李清伟, 吕炳南, 王玉波. 鸡粪好氧堆肥研究进展[J]. 农机化研究, 2008(9): 231-233.
- LI Qing-wei, LV Bing-nan, WANG Yu-bo. Research advances of chicken manure composting[J]. *Study of Agriculture and Mechanization*, 2008(9): 231-233.
- [13] 尹永强, 何明雄, 韦峥宇, 等. 堆肥腐熟机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 10053-10055, 10058.
- YIN Yong-qiang, HE Ming-xiong, WEI Zheng-yu, et al. Research advances of compost mechanism maturity[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2008, 36(23): 10053-10055, 10058.